G. Wiedmann

Linienspektren von Hg, Cd, Zn

hauptsächlich im Rot

Diss. Tüb. 1912

ÜBER DIE LINIENSPEKTRA VON QUECKSILBER, KADMIUM UND ZINK, HAUPTSÄCHLICH IM ROT.

INAUGURAL-DISSERTATION

EINER

HOHEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

K. EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT TÜBINGEN

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

GEBHARD WIEDMANN

AUS DEGGINGEN.

LEIPZIG

JOHANN AMBROSIUS BARTH

1912

Von der Fakultät angenommen am 18. Juli 1911.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Die vorliegende Arbeit wurde auf freundliche Anregung des Herrn Prof. Dr. F. Paschen im hiesigen physikalischen Institut ausgeführt, und beschäftigt sich hauptsächlich mit der Untersuchung des Quecksilberspektrums. Dieses Spektrum läßt sich in außerordentlicher Reinheit erzeugen und zeigt sehr auffallende Gruppen von Linien. Es bildete daher den Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und ist wohl eines der am besten bekannten und am eingehendsten untersuchten Spektren. Anlaß zu dieser Arbeit gaben die Untersuchungen von Herrn Prof. Paschen im ultraroten Teile des Spektrums[1]) und seine Arbeit über die Serien einfacher Linien von Zn, Cd, Hg.[2]) Diese Arbeit hat die eingehende Untersuchung besonders des Quecksilberspektrums zum Gegenstand und behandelt die Gesetzmäßigkeiten dieses Spektrums. Die Analyse des Quecksilberspektrums erweist sich außerordentlich schwierig und es wird sich zeigen, daß die gefundenen Serien nur teilweise den bis jetzt gebräuchlichen Serienformeln folgen. Während nämlich bei den bis jetzt gefundenen Serien die Berechnungen mit den Beobachtungen meistens ziemlich genau übereinstimmen und beträchtliche Abweichungen nur bei den Grundlinien einiger Serien vorkommen, versagen bei den neu gefundenen Serien die Formeln gänzlich, wenigstens für die Glieder der niederen Ordnungszahlen; die Glieder der höheren Ordnungszahlen lassen sich allerdings berechnen. Große Vorteile bieten bei der Analyse des Spektrums die Kombinationen. Einerseits lassen die Kombinationen die richtige Linie erkennen, wo die Rechnung die Wahl zwischen mehreren Linien läßt, andererseits werden durch Kombinationen ganze Serien erhalten. Es wurden verschiedene neue, sehr interessante Kombinationen

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. **27.** p. 558. 1908.
2) F. Paschen, Ann. d. Phys. **30.** p. 752. 1909.

gefunden. Die mittelst der Kombinationen berechneten Serien stimmen mit den Beobachtungen äußerst genau überein; vorhandene Abweichungen sind lediglich auf Beobachtungsfehler zurückzuführen. Das Kombinationsprinzip ist von F. Paschen eingehend behandelt.[1]) Eine schöne Bestätigung erhalten die gefundenen Resultate durch den Nachweis der analogen Serien in Kadmium und Zink. Diese Spektren wurden ebenfalls im roten Teile untersucht, nachdem Herr Prof. Paschen die betreffenden Linien vorausberechnet hatte.

Apparate.

Zur Untersuchung der Spektren stand mir ein Konkavgitter von Rowland zur Verfügung. Dasselbe hatte einen Krümmungsradius von 6,5 m und erhielt von einem Hohlspiegel, in dessen Brennpunkt der Spalt stand, annähernd paralleles Licht. Da es hauptsächlich darauf ankam, auch die schwächsten Linien auf die photographische Platte zu bekommen, also auf die größte Lichtstärke, wurde nur die erste Ordnung des Spektrums benutzt. Das Gitter ist von Herrn Färber beschrieben.[2])

Ein weiterer Spektralapparat, der sehr gute Dienste leistete, wurde benutzt. Es war dies ein sehr lichtstarker Prismenspektrograph von A. Hilger in London. Mit diesem Apparate gelang es mir, die schwächsten Linien zu photographieren und so die Serien bis nahe an ihr Ende zu erhalten. Sehr nützlich erwies sich dieser Apparat auch dann, wenn eine Linie von einem Gittergeiste unterschieden werden sollte; es kommt nämlich manchmal vor, daß eine Spektrallinie mit einem Geiste einer starken Linie zusammenfällt. Mit dem Prismenapparate aber erhält man nur reelle Linien.

Als Lichtquelle diente eine Glasquecksilberlampe, die bei 60 Volt Spannung bis zu 25 Amp. belastet werden konnte, jedoch fortwährend mit Wasser gut gekühlt werden mußte.[3]) Vor Abschluß dieser Arbeit konstruierte Herr Prof. Paschen eine Quarzglaslampe gleicher Art, die selbst mit 30—35 Amp.

---

1) F. Paschen, Jahrbuch der Radioaktivität u. Elektronik 8. p. 174.

2) A. Färber, Ann. d. Phys. **9.** p. 886. 1902.

3) P. Gmelin benutzte die gleiche Lampe und beschreibt sie: Ann. d. Phys. **33.** p. 25. 1910.

bei 60 Volt Spannung einige Zeit gebrannt werden konnte, unter beständiger guter Kühlung.

Zum Photographieren in den verschiedenen Teilen des Spektrums wurden die hierfür in Betracht kommenden, am besten empfindlichen Platten benutzt. Die Untersuchung des Spektralgebietes in äußersten Rot geschah anfangs mit den rotempfindlichen Platten von Wratten und Wrainright; doch gelang es mir nicht, mit diesen Platten weiter zu kommen, als bereits Herr Hermann kam. Gemeinsam mit Herrn Ed. Lorinser wurden verschiedene Verfahren ausprobiert. Zunächst versuchten wir das von H. Hermann[1]) angegebene Cyaninverfahren; allein die so hergestellten Platten waren wohl brauchbar, jedoch genügte die Empfindlichkeit nicht, und außerdem ist das Verfahren ziemlich umständlich. Das von Lehmann[2]) angegebene Verfahren mit Alizarin ist besser und viel einfacher, zumal wir von der Anilin- und Sodafabrik in Ludwigshafen gleich Alizarinblau *S* erhalten konnten. Die Platten wurden nun folgendermaßen hergestellt: wir verwendeten 5 mg Nigrosin und 10 mg Alizarinblau *S*, lösten beides in 200 ccm destilliertem Wasser auf an einem dunklen Ort, gaben ca. 5 ccm Ammoniak (0,95), ferner ca. 5 Tropfen Silbernitrat (ca. 30 Proz.) und badeten die Platten in dieser Lösung ungefähr 5 Minuten. Nachdem die Platten getrocknet sind, behalten sie ihre Empfindlichkeit einige Tage, alsdann aber nimmt die Empfindlichkeit beständig ab. Mit diesen Platten kommt man mit einem Prismenapparat bis 8700 Å.-E. Die höchste Empfindlichkeit haben diese Platten von etwa 7000 bis 8200 Å.-E. Gibt man in die Lösung noch etwa 2 ccm Pinachrom- oder besser Pinacyanollösung (1 : 1000 in Alkohol), so wird dadurch die Empfindlichkeit von 6000 Å.-E. an erhöht, jedoch ist die Platte oberhalb 8000 Å.-E. nicht besser empfindlich als vorher. Mit diesen Platten gelang es im äußersten roten Teile des Spektrums eine Reihe wichtiger Spektrallinien zu photographieren und auszumessen.

Ausgemessen wurden die Platten mit einem Zeiss-Komparator. Als Normalen dienten, wenn möglich, die Hartmannschen Eisennormalen, bezogen auf das „*R*“-System. Es

1) H. Hermann, Tübinger Diss. 1904.
2) H. Lehmann, Arch. f. wiss. Phot. 6. 1900.

wurde meistens zwischen zwei Eisennormalen, die nicht weiter als 50 Å.-E. voneinander entfernt lagen, interpoliert. Falls die Hartmannschen Normalen fehlten, wurden die von Kayser gemessenen Eisenlinien benutzt. Im roten Teile dienten als Normalen die von Kochen gemessenen Eisenlinien.[1]) Die Linien im äußersten Rot wurden gegen violette der zweiten Ordnung gemessen und haben daher nicht denselben Anspruch auf Genauigkeit. Die mit dem Spektralapparate photographierten Linien wurden nach der Hartmannschen Formel

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{e}{D - D_0}$$

berechnet. Diejenigen Linien, die zwischen bekannten interpoliert werden konnten, ließen sich mit dieser Formel bis auf einige Zehntel Å.-E. genau berechnen, während diejenigen, die durch Extrapolation berechnet werden mußten, nur auf einige Å.-E. genau sind. Außerdem sind die Linien im roten Teile nicht so genau zu berechnen, wie die etwa im grünen Teile, weil die Dispersion des Prisma gegen Rot sehr rasch abnimmt.

Die Linien des Quecksilberbogenspektrums im sichtbaren Gebiete und im Rot.

In der folgenden Tabelle werden die Linien des Quecksilberspektrums angegeben. Die erste Vertikalreihe bezeichnet die Intensität, und zwar so, daß den stärksten Linien die Intensität $J = 10$ zukommt, und den schwächsten $J = 1$. Diese Intensitätsangaben sind durch Schätzung erhalten. Die zweite Reihe enthält die Wellenlängen λ in Luft; die mit 3 Dezimalen geschriebenen Wellenlängen sind die Mittelwerte aus mehreren Messungen. Die Messung geschah in der ersten Ordnung des Gitterspektrums. Die dritte Dezimale hat keinen Anspruch auf Genauigkeit[2]); selbst die zweite Dezimale kann um ± 2 ungenau sein, bei unscharfen Linien um noch mehr. Die mit weniger Dezimalen geschriebenen Linien sind entweder nur einmal gemessen oder nur mit dem Spektralapparate. In der dritten Vertikalreihe sind die Linien charakterisiert. Die

1) E. A. Kochen, der rote Teil des Eisenbogenspektrums, Zeitschr. f. wiss. Phot. 5. p. 285—299. 1907.

2) F. Paschen, Ann. d. Phys. 30. p. 751. 1909.

vierte Reihe gibt die Schwingungszahlen im Vakuum. Hierauf folgen die Messungen von Herrn Stiles[1]), bezogen auf das internationale System. Meine Messungen sind auf das „*R*“-System bezogen, weil alle früheren Berechnungen der Quecksilberlinien mit auf dieses System bezogenen Werten gemacht wurden.

Es bedeutet also: J die Intensität, λ Wellenlänge in Å.-E. in Luft, ν Schwingungszahl im Vakuum, U ganz unscharf, uv unscharf nach Violett, ur unscharf nach Rot.

J	λ	ν	Messungen von Stiles
2	8198	12195,12	
2	8164	12245,89	
1	8077	12377,76	
2	7982	12525,05	
2	7821	12782,81	
6	7729,456 *ur*	12934,05	
2	7676	13024,22	
2	7606	13144,05	
1	7551	13239,77	
2	7453 *u*	13413,81	
3	7371	13563,00	
1	7295	13704,26	
1	7179	13925,63	
1	7122	14037,05	
3	7092,456	14095,66	
4	7082,273	14115,94	7081,96
1	7044	14192,44	
10	6907,776	14472,51	6907,47
1	6891	14507,47	
1	6868	14556,04	
5	6716,680	14884,27	6716,315
8	6234,556	16035,40	6234,31
6	6123,672	16325,63	6123,48
5	6072,839	16462,28	6072,66
3	5890,382 *U*	16972,19	
2	5872,337	17024,35	
1	5868,28	17036,15	
1	5860,32	17059,28	
4	5859,538 *ur*	17061,55	5859,49
1	5838,988	17121,59	
3	5821,678	17172,51	
4	5803,774 *ur*	17225,46	
10	5790,873 n. H.[2])	17263,85	5790,659 F. u. P.[2])

1) H. Stiles, Astrophs. Journ. **30.** 1909.
2) H. bedeutet Hartmann, F. u. P. Fabry u. Pérot.

J	λ	ν	Messungen von Stiles
4	5789,875 [1])	17266,83	5789,521 [1])
10	5769,811 H.	17326,88	5769,598 F. u. P.
5	5676,075	17613,00	5675,811
3	5549,500 *u v*	18014,93	
10	5460,944 H.	18306,87	5460,742 F. u. P.
2	5420,362	18443,92	
2	5405,500 *U*	18494,65	
1	5393,698	18535,14	5399,986
2	5389,212	18550,53	
1	5385,99	18561,62	
3	5384,904 *u r*	18565,38	
3	5365,250 *U*	18633,42	
4	5354,240 *u r*	18671,73	5354,290
3	5316,870 *u v*	18803,00	
2	5290,3	18897,52	
2	5219,1	19155,25	
1	5166,0	19351,6	
1	5140,268	19448,93	
2	5138,258	19456,53	
1	5129	19491,30	
3	5120,830 *u r*	19522,75	
1	5109	19567,56	
2	5102,600 *u v*	19592,47	
			5081,260
2	5046,000 *U*	19812,17	
3	5025,818	19891,82	5025,563
2	4991,7	20027,76	
3	4980,995 *u r*	20071,25	
1	4970,305	20114,00	
5	4960,500 *U*	20153,73	4960,427
5	4916,180	20335,41	4916,051
1	4897,1	20414,67	
2	4890,450 *u r*	20442,41	
1	4883,3	20473,79	
1	4832,4	20688,04	
2	4827,3	20709,89	
1	4822,5	20730,54	
1	4782,3	20904,76	
1	4748,3	21054,40	
1	4723,0	21167,16	
1	4702,0	21261,66	
1	4685,5	21336,52	
1	4672,9	21394,03	

1) Vgl. F. Paschen, Ann. d. Phys. **30.** p. 750. Anm. 3. 1909 und P. Gmelin, Ann. d. Phys. **33.** p. 26. u. 29. 1910.

J	λ	ν	Messungen von Stiles
1	4662,6	21441,51	
1	4653,6	21482,97	
			4451,637
10	4358,504 H.	22937,36	4358,343 F. u. P.
6	4347,617	22995,32	4347,504
2	4343,793	23015,11	
6	4339,323	23038,71	4339,245
			4273,27
1	4140,182	24147,00	
6	4108,170	24334,98	4108,116
9	4077,860	24515,93	4077,842
10	4046,646	24705,02	4046,557
6	3984,100	25092,5	3983,963
8	3906,590	25590,69	3906,478
2	3903,793	25609,05	
6	3902,087	25620,20	3901,965
1	3894,041 *u*	25673,15	
3	3861,234 *U*	25891,24	
			3849,274
3	3820,277 *U*	26168,83	3801,665
4	3801,780	26296,13	
4	3790,282 *U*	26375,89	3789,818
			3775,697
			3773,540
1	3771,043 *u*	26510,56	
1	3755,403	26620,88	
4	3751,897 *u*	26645,77	3751,737
			3728,213
2	3704,288	26988,22	3704,28
1	3702,509	27001,19	
1	3701,593	27007,90	3701,44
2	3680,421	27163,21	
4	3673,172	27216,80	
1	3666,660	27265,19	
9	3663,421	27289,29	3663,274
6	3663,018	27292,28	3662,881
10	3655,066	27351,62	3654,832
10	3650,425	27386,45	3650,144
2	3592,908	27824,85	3592,97
1	3591,63	27834,76	
1	3591,10	27838,87	
2	3524,42	28365,56	
1	3523,15	28376,03	
1	3479,13	28735,22	
1	3478,00	28744,35	
1	3447,36	28999,79	

Die Messungen von 4000 A.-E. an abwärts sind nicht so ausführlich und genau, wie die oberhalb 4000 Å.-E. Es wurden nur die stärkeren und die charakteristischen Linien gemessen, manche nur einmal. Von den in obiger Tabelle enthaltenen Linien gehören die meisten zu den folgenden Serien.

I. Hauptserien und ihre Kombinationen.

1. Hauptserie einfacher Linien.

Die Glieder dieser Serie konnten nur mit großer Mühe gefunden werden. Es mußten besondere Bedingungen der Lampe ausprobiert werden, um die letzten Glieder zu erhalten. Die Linien dieser Serie sind sämtlich unscharf nach Violett. Trotzdem das Ende dieser Serie sehr genau angegeben werden kann, ist es nicht gelungen, die Glieder für die Ordnungszahlen 3 und 4 sicher zu bestimmen. Berechung und Beobachtung weichen bei dieser Serie, wie bei den anderen hierher gehörigen Hauptserien für die Glieder der niederen Ordnungszahlen ziemlich von einander ab. Herr Prof. Paschen verwendet zur Berechnung dieser Serie die Formel:

$$\nu = (2{,}5\,S) - (m, P), \text{ wo } (m, P) = \frac{N}{[m + \overline{P + \Pi(m,P)^4}]^2}$$

bedeutet und $(2{,}5\,S) = 20252{,}4$ ist.

m	5	6	7	8
λ	6234,5	5803,7	5549,5	5393,7
ν	16035,4	17225,4	18014,9	18535,1
(m,P)	4217,0	3027,0	2237,5	1717,3
λ ber.	6234,5	5803,2	5549,5	5393,2
λ beob.—λ ber.	0	+ 0,5	0	+ 0,5

m	9	10	11	12
λ	5290,3	5219,1	5166,0	5129,1
ν	18897,5	19155,2	19351,6	19491,3
(m,P)	1354,9	1097,2	900,8	761,1
λ ber.	5290,6	5219,4	5167,6	5129,3
λ beob.—λ ber.	− 0,3	− 0,3	− 1,6	− 0,2

$$P = -\,0{,}0073064, \quad \Pi = +\,3{,}38595 \times 10^{-6}.$$

Das Glied $m = 4$ ist wahrscheinlich die Linie 6716,680; kann jedoch mit obiger Formel nicht genügend genau berechnet werden. Über das Glied $m = 3$ sind keine Anhaltspunkte vorhanden; das Glied $m = 2$ muß nach Paschen 10140,6 sein.

Parallel mit dieser Serie läuft die folgende:

2. Serie vorgelagerter Linien.

Die Linien dieser Serie sind wie die der vorhergehenden nach Violett unscharf. Auch diese Serie läßt sich nicht weiter verfolgen als die Serie einfacher Linien. Die Serie berechnet man sehr leicht aus der vorhergehenden; bildet man nämlich die Differenz der Grenzen beider Serien 21829,9 — 20252,4 = 1577,5, so findet sich diese Differenz auch zwischen den entsprechenden Gliedern beider Serien, d. h. deren Schwingungszahlen. Die Glieder dieser Serie sind:

m	λ in Luft	ν im Vakuum
10	4822,5	20730,54
9	4883,3	20473,80
8	4970,305	20114,00
7	5102,600	19592,50
6	5316,870	18803,00
5	5676,075	17613,00
4	6072,839	16462,28

Die Differenzen der entsprechenden Schwingungszahlen lauten:

$m = 10$ { 20730,54 / 19155,25 / 1575,29 }

$m = 9$ { 20473,80 / 18897,52 / 1576,28 }

$m = 8$ { 20114,00 / 18535,14 / 1578,86 }

$m = 7$ { 19592,50 / 18014,93 / 1577,57 }

$m = 6$ { 18803,00 / 17225,46 / 1577,54 }

$m = 5$ { 17613,00 / 16035,40 / 1577,60 }

$m = 4$ { 16462,28 / 14884,27 / 1578,01 }

3. Triplethauptserie.

Während die Triplethauptserien von Kadmium und Zink leicht zu erkennen sind, begegnet man beim Quecksilberspektrum großen Schwierigkeiten. Wie die obigen beiden Serien läßt sich auch diese Serie nicht vollständig berechnen, trotzdem die Grenze von F. Paschen[1]) angegeben und auch von Milner[2]) experimentell bestätigt ist. Diese Serie endigt an derselben Grenze wie die Serie vorgelagerter Linien, und es ist sehr schwierig, beide Serien voneinander zu unterscheiden. Herr Milner hat die Serie ebenfalls bis nahe an die Grenze

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. **29.** p. 662. 1909.
2) Dr. S. R. Milner, Philosophical Magazine. **20.** p. 636. 1910.

gemessen und gibt die oben angegebenen Glieder der Serie vorgelagerter Linien als Glieder der Triplethauptserie an. Dadurch erhält Herr Milner ein ganz falsches Bild einer Tripletserie, nämlich das mittlere Glied als das stärkste, was bekanntlich allen seitherigen Beobachtungen widerspricht. Außerdem sind die Linien der vorgelagerten Serie nach Violett unscharf, während die Linien der Triplethauptserie gegen Violett scharf und nach Rot unscharf sind. Dieser Umstand hat hauptsächlich zur Unterscheidung beider Serien beigetragen. Unmöglich zur Triplethauptserie können ferner die von Herrn Milner angegebenen Linien 5365 und 5890 gehören. Diese Linien sind auffallend unscharf und haben genau dasselbe Aussehen wie die anderen in der Tabelle mit *U* charakterisierten Linien.

Sehr merkwürdig ist das Verhalten dieser Serie. Die zweite Linie der Glieder $m = 5$ und $m = 6$, nämlich 5859 und 5384, ist je von einem deutlich zu messenden Trabanten begleitet und es scheint als ob sich die Serie aufspalte. Diese Trabanten sind bei den Gliedern der höheren Ordnungszahlen natürlich nicht mehr zu messen. Die Berechnung läßt sich für die stärksten Glieder eines jeden Triplets mit einiger Genauigkeit ausführen; für die beiden andern Glieder aber werden die Abweichungen immer beträchtlicher, was wohl auf die erwähnte Zersplitterung zurückzuführen ist. Es wird daher nur das stärkste Glied der Triplets hier berechnet. F. Paschen[1]) berechnet auch die anderen Glieder. Die benutzte Formel ist folgende:

$$\nu = (1{,}5\,s) - (m, p_1); \quad (m, p_1) = \frac{N}{[m + p_1 + \pi_1 (m, p_1)]^2}.$$

$$(1{,}5\,s) = 21829{,}9, \quad p_1 = -\,0{,}0899114, \quad \pi_1 = -\,6{,}68285 \times 10^{-6}.$$

m	λ beob.	ν	$m\,p_1$	λ ber.	λ beob.— λ ber.
4	6907,776	14472,5	7357,4	6907,776	0
5	5803,77	17225,4	4604,5	5804,5	−0,7
6	5354,2	18671,7	3158,2	5355,4	=1,2
7	5120,8	19522,7	2307,2	5120,8	0
8	4981;0	20071,2	1758,7	4980,7	+0,3
9	4890,4	20442,4	1387,5	4889,8	+0,6
10	4827,3	20709,9	1120,0	4826,9	+0,4

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. **35.** p. 860. 1911.

m	λ beob.	ν	$m p_1$	λ ber.	λ beob.— λ ber.
11	4782,3	20904,76	925,2	4781,8	+0,5
12	4748,3	21054,4	775,5	4748,0	+0,3
13	4723,0	21167,1	662,8	4722,0	+1,0
14	4702,0	21261,6	568,3	4701,8	+0,2
15	4685,5	21336,5	493,4	4685,5	0
16	4672,9	21394,0	435,9	4672,5	+0,4
17	4662,6	21441,5	388,4	4661,6	+1,0
18	4653,6	21482,9	346,9	4652,6	+1,0

Das Grundglied $m = 2$ ist: 5460,944; 4358,504 und 4046,646. Das Glied $m = 3$ läßt sich nicht mit Sicherheit bestimmen. Die Triplethauptserie, soweit sie wohl als sicher angenommen werden darf, ist nun folgende.

m	stärkste	mittelstarke	schwache Linie
2	5460,944	4358,504	4046,646
4	6907,776	7082,273	7092,456
5	5803,774	5859,538 5860,32	5872,337
6	5354,240	5384,901 5385,99	5389,212
7	5120,830	5138,258	5140,268
8	4980,995	4991,7	
9	4890,450	4897,1	
10	4827,3	4832,4	
11	4782,3		
12	4748,3		
13	4723,0		
14	4702,0		
15	4685,5		
16	4672,9		
17	4662,6		
18	4653,6		

II. Zweite Nebenserien und ihre Kombinationen.

Die zweiten Nebenserien sind bereits bekannt. Sehr interessante Linien, die bisher nicht eingeordnet werden konnten, wurden als Kombinationen dieser Nebenserien erkannt. Die Linien dieser Kombinationen zeichnen sich durch ihre außerordentliche Schärfe aus.

Die folgende Serie wird gebildet durch den Term:

$(2, P) - (m, s)$; d. h. sie bildet mit dem ersten Glied der zweiten Tripletnebenserie die Schwingungsdifferenz 40136,8 — 30111,10 = 10025,7.

$(2, P)$	30111,1	$(2, P)$	30111,1	$(2, P)$	30111,1
$(-1{,}5\ s)$	21829,9	$(-2{,}5\ s)$	10220,3	$-(3{,}5\ s)$	5964,6
ν ber. =	8281,2	ν ber.	19890,8	ν ber.	24146,5
ν beob.	8281,9[1])	ν beob.	19891,8	ν beob.	24147,0
λ beob.	12071,3	λ beob.	5025,818	λ beob.	4140,182

Eine weitere Serie wird gebildet durch den Term: $(2, p_2) - (m, S)$, d. h. dieselbe hat die Schwingungsdifferenz 14656,2 gegen die zweite Nebenserie einfacher Linien. Die zweite Nebenserie lautet nach F. Paschen:

m	λ	ν
1,5	1849,0	54065,7
2,5	10140,6	9858,7
3,5	4916,19	20335,4
4,5	4108,17	24335,0

Die Kombinationsserie ist also:

m	λ	ν ber.	ν beob.
1,5	2536,7	39409,5	39410,4
2,5	4077,86	24514,9	24514,9
3,5	2857,1	34991,6	34990,6
4,5	2564,1	38991,2	38987,9

III. Erste Nebenserien und ihre Kombinationen.

Die erste Nebenserie einfacher Linien wurde von F. Paschen zuerst als Kombination[2]) der ersten Tripletserie, später aber nach Analogie der entsprechenden Serien von Cadmium und Zink als erste Nebenserie einfacher Linien[3]) angegeben. Diese Serie, sowie die beiden dicht neben ihr verlaufenden Kombinationsserien, sollen hier weiter fortgesetzt und aus ihnen der weitere Verlauf der ersten Tripletnebenserie berechnet werden. Die Formel zur Berechnung der ersten Nebenserie einfacher Linien ist folgende:

$$\nu = (2, P) - (m, D);\ (m, D) = \frac{N}{[m + D + \mathfrak{D}\sqrt{(m, D)}]^2}.$$

Die Berechnung der beiden dicht neben dieser Serie verlaufenden Kombinationsserien geschieht mit derselben Formel und kann deshalb hier unterlassen werden.

---

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. **27.** p. 558.

2) F. Paschen, Ann. d. Phys. **30.** p. 750.

3) F. Paschen, Jahrb. der Radioaktivität und Elektronik. 8. p. 178. Anm. 1.

m	λ	ν	(m, D)	λ ber.	λ beob.— λ ber.
3	5790,87	17263,8	12848,5	5790,87	0
4	4347,6	22995,3	7117,0	4348,7	−1,1
5	3906,6	25590,7	4521,6	3906,6	0
6	3704,3	26988,2	3124,1	3704,2	+0,1
7	3592,9	27824,8	2287,5	3592,7	+0,2
8	3524,4	28365,5	1746,8	3524,2	+0,2
9	3479,1	28735,2	1377,1	3479,0	+0,1
10	3447,4	28999,8	1112,5	3447,4	0

Die Glieder 8, 9 und 10 sind nur einmal gemessen und zwar gegen Quecksilbernormalen; außerdem wurden sie durch Extrapolation erhalten. Dennoch dürfte ihre Genauigkeit ± 0,1 Å.-E. sein.

	Erste NS. einf. Linien und die daneben verl. Kombinationen		Schwingungsdifferenz	Erste Tripletnebenserie			
	λ	ν		ν	λ ber.	λ beob.	
$m = 3$	5790,87	17263,8	10025,7	27289,5	3663,4	3663,4	
			14656,2	31920,0	3131,9	3131,9	K. u. R.
			16422,8	33686,6	2967,7	2967,4	K. u. R.
	5789,87	17266,8	10025,7	27292,5	3663,0	3663,0	
			14656,2	31923,0	3131,7	3131,7	K. u. R.
			16422,8	33689,6	2967,4	2967,4	K. u. R.
	5769,81	17326,9	10025,7	27352,6	3655,0	3655,1	
			14656,2	31983,1	3125,8	3125,8	St.
$m = 4$	4347,6	22995,3	10025,7	33021,0	3027,6	3027,6	K. u. R.
			14656,2	37651,5	2655,2	2655,3	K. u. R.
			16422,8	39418,1	2536,2	2536,7 [1]	
	4343,8	23015,1	10025,7	33040,8	3025,8	3025,8	St., K. u. R.
			14656,2	37671,3	2653,8	2653,9	St.
			16422,8	39437,9	2534,9	2534,9	K. u. R.
	4339,3	23038,7	10025,7	33064,4	3023,6	3023,6	St.
			14656,2	37694,9	2652,2	2652,2	K. u. R.

1) Diese Linien werden von Stiles als verbreitert bezeichnet; es ist daher wahrscheinlich, daß sie aus mehreren Komponenten bestehen.

Fortsetzung.

	Erste NS. einf. Linien und die daneben verl. Kombinationen		Schwingungsdifferenz	Erste Tripletnebenserie			
	λ	ν		ν	λ ber.	λ beob.	
$m = 5$	3906,6	25590,7	10025,7	35616,4	2806,9	2807,0	St.
			14656,2	40246,9	2483,9	2484,1	St.
			16422,8	42013,5	2379,5	(?) 2380,2	St.
	3903,8	25609,0	10025,7	35634,7	2805,4	2805,6	St.
			14656,2	40265,2	2482,8	2482,9	St.
			16422,8	42031,8	2378,5	2378,5	St.
	3902,1	25620,2	10025,7	35645,9	2804,6	2804,7	St.
			14656,2	40276,4	2482,1	2482,2	St.
$m = 6$	3704,3	26988,2	10025,7	37013,9	2701,0	2701,1	St.
			14656,2	41644,4	2400,7	2400,8	St.
			16422,8	43411,0	2302,9	2302,4	St.
	3702,5	27001,2	10025,7	37026,9	2700,0	2699,7	
			14656,2	41657,4	2399,8	2399,9	
			16422,8	43424,0	2302,2	2302,3	
	3701,6	27007,9	10025,7	37033,6	2699,4	2699,1	St.
			14656,2	41664,1	2399,5	2399,5	St.
$m = 7$	3592,9	27824,8	10025,7	37850,5	2641,5	2640,1 [1]	
			14656,2	42481,0	2353,4	2352,8 [1]	
			16422,8	44247,6	2259,5	2259,1	
	3591,6	27834,7	10025,7	37860,4	2640,7	2640,1 [1]	
			14656,2	42490,9	2352,8	2352,8	
			16422,8	44257,5	2258,9	2259,0	
	3591,1	27838,9	10025,7	37864,6	2640,3	2640,1	St.
			14656,2	42495,1	2352,6	2352,8	St.
$m = 8$	3524,4	28365,5	10025,7	38391,2	2604,2	2603,3	? St.
			14656,2	43021,7	2323,8	2323,5	
			16422,8	44788,3	2232,1	—	
	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	
	3523,1	28376,0	10025,7	38401,7	2603,3	2603,3	St.
			14656,2	43032,2	2323,2	2323,5	St.

1) Diese Linien werden von Stiles als verbreitert bezeichnet; es ist daher wahrscheinlich, daß sie aus mehreren Komponenten bestehen.

Fortsetzung.

	Erste NS. einf. Linien und die daneben verl. Kombinationen		Schwingungsdifferenz	Erste Tripletnebenserie		
	λ	ν		ν	λ ber.	λ beob.
$m = 9$	3479,1	28735,2	10025,7	38760,9	2579,2	
			14656,2	43391,4	2303,8	
			16422,8	45158,0	2213,8	
	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	
	3478,0	28744,3	10025,7	38770,0	2578,6	
			14656,2	43400,5	2303,4	
$m = 10$	3447,3	28999,8	10025,7	39025,5	2561,8	
			14656,2	43656,0	2290,0	
			16422,8	45422,0	2200,9	

Obschon eingehendere Untersuchungen des ultravioletten Teiles des Quecksilberspektrums fehlen, und auch meine Messungen hier nur flüchtig sind, konnte doch der weitere Verlauf der ersten Nebenserie einfacher Linien angegeben und daraus die erste Tripletnebenserie berechnet werden.

Von den beobachteten Linien des Quecksilberspektrums bleiben nur noch wenige übrig, für die keine Gesetzmäßigkeiten gefunden werden konnten. Die mit *U* (ganz unscharf) charakterisierten Linien gehören offenbar zusammen. Die Schwingungszahlen der Linien 5365,250 und 5890,382 haben die Differenz 1659,4; die der Linien 4960,500 und 5405,500 die Differenz 1660,18. Ferner gehören ihrem Aussehen nach die Linien 3861,234; 3820,277 und 3790,282 hierher.

Kadmium.

Dieses Spektrum, sowie das des Zinks, wurde nicht so eingehend untersucht wie das Quecksilberspektrum. Die Untersuchung erstreckte sich nur auf den roten Teil, um die von Herrn Prof. Paschen berechneten Linien der Hauptserie einfacher Linien, event. auch der Serie vorgelagerter Linien zu finden. Als Lichtquelle dienten Quarzglaslampen von Heraeus. Diese Lampen wurden mit 4—7 Amp. bei 220 Volt Spannung gebrannt. Neben dem Spektrum von Kadmium bezw. Zink trat auch das Quecksilberspektrum auf und konnte nur bei

hohem Vakuum und fortgesetztem Pumpen ziemlich beseitigt werden. Als Pumpe diente die rotierende Quecksilberpumpe von W. Gaede. Mittelst dieser sehr leistungsfähigen Pumpe konnten die sich entwickelnden Gase sehr rasch entfernt werden. Außerdem wurden die Lampen gut gekühlt. Trotz alledem ist es sehr schwer, die Lampe längere Zeit hindurch konstant zu brennen. Große Schwierigkeiten bereitete die Cd-Linie 5895,9, da sie sehr schwach und deshalb nur bei starkem Strom erhalten werden kann, bei starkem Strom aber die Na-Linien auftreten. Dennoch ist es gelungen, diese Linie allein, ohne die Na-Linien, auf die Platte zu bekommen. Photographiert wurden diese Linien teils mit dem Spektrographen von Hilger, teils mit dem Gitter. Das Gitter war aber nicht dasselbe wie bei den Untersuchungen des Quecksilberspektrums, sondern ein kleineres von 3 m Krümmungsradius. Auch hier wurde nur das Spektrum erster Ordnung benutzt; die Dispersion war nur halb so groß wie bei dem früher benutzten Gitter. Die Art der Aufstellung war dieselbe.[1]) Gemessen wurden die Linien wieder gegen Eisennormalen und zwar womöglich gegen die Hartmannschen, bezogen auf das „*R*“-System. Wegen der geringeren Dispersion haben diese Messungen wohl nicht dieselbe Genauigkeit, wie die im Quecksilberspektrum. Die mit nur einer Dezimale geschriebenen Linien wurden entweder nur mit dem Spektralapparate oder nur einmal gemessen.

J	λ in Luft	ν im Vakuum	J	λ in Luft	ν im Vakuum
5	8202	12189,17	3	6031,631	16574,75
4	7396,581	13516,10	1	5895,9	16956,34
6	7382,485	13541,88	2	5784,105	17284,05
8	7346,100	13608,96	5	5637,475	17733,64
3	7132,218	14017,10	1	5607,088	17829,76
3	6778,332	14748,91	2	5604,985	17836,44
10	6438,709	15526,86	3	5599,107	17855,16
3	6330,154	15793,14	0	5598,275	17857,81
6	6325,404	15805,00	1	5569	17951,70
2	6198,394	16128,85	3	5378,337	18588,05
2	6128,792	16312,01	2	5339,711	18722,52
2	6116,346	16345,21	3	5337,624	18729,85
3	6111,682	16357,67	3	5297,905	18870,27
5	6099,312	16390,83	1	5181,6	19293,85

1) H. Hermann, Tübinger Diss. 1904.

Zink.

Im Spektrum des Zinks wurden folgende Linien gemessen:

J	λ in Luft	ν im Vakuum	J	λ in Luft	ν im Vakuum
6	7799,615	12817,69	3	5937,930	16836,32
6	7479,025	13367,10	6	5894,650	16959,93
4	6943,465	14398,14	3	5777,356	17304,27
6	6938,685	14408,06	4	5775,753	17309,07
8	6928,537	14429,14	5	5772,333	17319,31
5	6479,495	15429,12	2	5690,460	17568,50
10	6362,581	15712,64	1	5654,485	17680,30
3	6239,462	16022,71	1	5486,190	18222,60
6	6238,196	16025,97	1	5311,120	18823,28
5	6214,855	16086,14	2	5310,425	18825,76
2	6102,375	16382,61	3	5308,802	18831,50
1	6022	16601,64			

Analysiert wurde das Kadmium- und Zinkspektrum von Herrn Prof. Paschen.

Am Ende dieser Arbeit sei es mir gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. F. Paschen, für seine freundliche Anregung und vielfache Unterstützung meinen besten Dank auszusprechen.